经 济 学 研 究

后摩尔时代数字经济的创新方向

戚聿东　徐凯歌

(北京师范大学 经济与工商管理学院, 北京 100875)

摘　要:长期以来,数字经济的兴起与发展一直得益于摩尔定律的作用。然而,随着消费互联网阶段摩尔定律日益趋近极限,后摩尔时代悄然来临。后摩尔时代集成电路芯片的技术轨道跃迁将推动数字技术经济范式跨越转折期、进入拓展期。延续技术驱动数字经济发展的演进逻辑,数字经济在技术基础、创新重心、产业发轫、产权结构、组织结构、金融资本和制度支持等方面将面临新的创新方向。把握好后摩尔时代芯片的技术跃迁机遇和数字经济发展新方向,对中国实现经济总量的"变道超车"具有重大战略意义。

关键词:数字经济;后摩尔时代;技术—经济范式;技术创新

中图分类号:F124.3　**文献标识码**:A　**文章编号**:1000-5919(2021)06-0138-09

一、引　言

当下,数字经济浪潮正在全球范围内蓬勃兴起,对人类生产、生活和生态业已产生全面而深刻的影响。总体上看,数字经济是由人工智能(AI)、区块链(Blockchain)、云计算(Cloud Computing)、大数据(Data)为代表的底层数字技术(以下简称 ABCD 等数字技术)驱动的,而集成电路芯片是支撑这些底层数字技术发展的共同关键物理基础。半个多世纪以来,集成电路芯片的性能一直沿袭摩尔定律所预测的技术轨迹不断演进。然而,最能反映摩尔定律的晶体管集成度增速近年来逐渐放缓,集成电路芯片制程不断逼近物理和成本极限,摩尔定律日益趋近极限,"后摩尔时代"悄然来临。为此,各国纷纷展开针对后摩尔时代的技术战略部署。2017 年,美国国防高级研究计划局启动了"后摩尔时代的电子复兴计划";2018 年,欧盟提出由 29 家欧洲公司共同参与的"后摩尔定律时代半导体增值策略"。2021 年 5 月,中国国家科技体制改革和创新体系建设领导小组第十八次会议中,国务院副总理刘鹤强调了科技创新在经济社会中的关键作用,并专题讨论了面向后摩尔时代的集成电路潜在颠覆性技术。①

"后摩尔时代"在实质上是技术演进范畴的概念,意味着随摩尔定律趋近极限,集成电路芯片领域的既有技术轨道难以为继,技术轨道面临跃迁。数字经济有典型的技术驱动特征,后摩尔时代出现于数字经济蓬勃发展的大背景下,并且涉及芯片的技术跃迁,必然会对数字经济的发展产生深刻影响。然而,现有研究缺乏对数字经济与技术的交互关系及其演进规律的诠释,以佩蕾丝(Perez)为代表的新熊彼特学派学者提出的技术—经济范式理论将技术变化纳入经济系统分析框架,援用数字技术—经济范式理论能够深刻解释后摩尔时代的技术进步与数字经济演进的关系。围绕技术轨道跃迁引致的技术演进与经济发展的交互作用,后摩尔时代数字经济的创新方向相较以往,将在技术基础、创新重心、产业发

收稿日期:2021-05-05

作者简介:戚聿东,男,吉林东丰人,北京师范大学经济与工商管理学院教授。

基金项目:国家社科基金重大项目"技术标准与知识产权协同推进数字产业创新的机理与路径研究"(项目编号:19ZDA077)。

① 《刘鹤主持召开国家科技体制改革和创新体系建设领导小组第十八次会议》,中国政府网 2021 年 5 月 14 日(http://www.gov.cn/guowuyuan/2021-05/14/content_5606512.htm)。

韧、产权结构、组织结构、金融资本和制度支持等方面呈现显著的差异性。在中国芯片研发面临“卡脖子”的特殊背景下,把握好后摩尔时代集成电路芯片的技术跃迁机遇和数字经济发展新方向,对中国以数字经济“新赛道”实现经济总量的“变道超车”具有特别重大的战略意义。

二、后摩尔时代与数字技术—经济新范式

(一)后摩尔时代的技术经济特征

1965 年,英特尔联合创始人戈登 · 摩尔提出摩尔定律(Moore’s Law),即每隔 18—24 个月,集成电路芯片上所容纳的晶体管数目将增加一倍,届时处理器的功能和处理速度会翻一番,并且价格会降到原来的一半。① 半个多世纪以来,集成电路芯片领域一直遵循摩尔定律的技术轨迹快速发展,摩尔定律也被视为数字经济的重要法则。然而,微电子学界和业界已率先意识到摩尔定律趋近极限,“后摩尔时代”悄然来临:中国工程院院士许居衍 1993 年就预测,摩尔定律将在 2014 年开始失效②;2016 年 2 月英国《自然》杂志发表文章指出,半导体技术发展不再以摩尔定律为目标,摩尔定律将走向终结③;同年,全球半导体技术路线图(ITRS)史无前例地放弃了以摩尔定律为主导的思路,重组新路线以适应半导体行业的重大变革。④

摩尔定律至少在物理、功耗、成本三方面趋近极限:(1)物理极限,延续摩尔定律的传统思路是不断缩小芯片的特征尺寸,若继续缩小至 2—3nm,芯片上线条宽度仅相当于几个原子大小,届时宏观世界的物理学定律失效,硅材料的性能将发生质的改变;(2)功耗极限,晶体管密度持续增加使单位面积内的电子移速越来越快、产生大量热量,现有技术方案无法从根本上解决问题;(3)成本极限,即使在技术上可以实现特征尺寸的持续缩小,高昂的研发成本也会大大降低产品的经济效益,当市场无法满足丰厚回报,甚至研发投入难以收回时,芯片开发商将转而寻求新的技术轨迹。

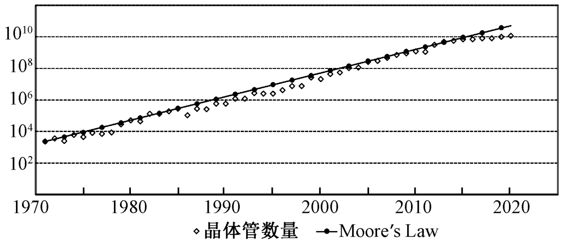

图 1　CPU 晶体管数量历年变化趋势

注:数据来源为英特尔、**AMD** 和台积电官网 **1971—2020** 年发布的主要 **CPU** 产品的技术参数值,由作者手工整理绘制。为更直观显示,将数据取以 **10** 为底的对数。

为检验“摩尔定律已趋近极限”,文章选取最能代表摩尔定律成就的 CPU 晶体管集成度的技术参数,分别考察 CPU 产品的晶体管数量和特征尺寸两项指标在 1971—2020 年的变化趋势,并与摩尔定律发展的模拟曲线进行对比。根据图 1,除 1985—1995 年增长略微缓慢之外,CPU 晶体管数量在 2010 年之前的增长趋势基本与摩尔定律保持一致。但从 2010 年开始增长速度明显放缓,始终在百亿级上下浮动且难以突破,无法追随摩尔定律的增长速度。根据图 2,CPU 集成电路的特征尺寸呈现指数型的下降趋势。因此,当前技术参数虽然仍在沿袭摩尔定律艰难推进,但追随摩尔定律的脚步确实正在放缓,

① Moore, G.E. ,“Cramming More Components onto Integrated Circuits”. *Electronics*.1965,38(8): pp.114-117.

② 许居衍:《微电子技术发展前景预测:课题研究报告》,《LSI 制造与测试》1993 年第 4 期,第 1—3、17 页。

③ Waldrop, M. M., “The Chips are Down for Moore’s Law.” *Nature*.2016, 530(7589): pp.144.

④ “What Is the IRDS”. *IEEE*.2021, https://irds.ieee.org/.

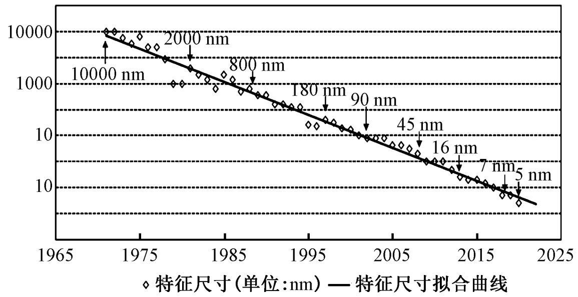

图 2　CPU 特征尺寸历年变化趋势

“后摩尔时代”确已悄然来临。后摩尔时代意味着集成电路芯片在技术轨道的跃迁,也因此为数字经济发展提供了新的方向。从技术—经济交互的视角看,在后摩尔时代,在集成电路芯片领域,沿袭摩尔定律作用下的既有技术轨道已达到物理和成本维度的极限,在新材料、新架构、新原理上将产生越来越多的颠覆性创新,继而对经济、制度产生深远影响的技术轨道跃迁。

(二)后摩尔时代下数字技术—经济范式的演进

多西(Dosi)首次将范式引入技术创新研究,指出“技术范式”是挑选出来解决技术问题的一种模型或模式①,并提出了“技术轨道”概念,定义为“经过经济和技术的要素权衡,由技术范式所限定的技术进步的轨迹”②,为进一步探讨技术演进的路径和特征提供了框架。随后,佩蕾丝提出“技术—经济范式”,将技术范式与经济增长直接联系了起来,阐释了不同经济部门在技术变革中起到的作用③。佩蕾丝认为技术革命引致了通用技术、基础设施和经济组织原则的爆炸性增长,逐渐衍生出新的技术—经济范式,并以此划分了发展的巨潮(Great Surge of Development),用以解释技术革命的扩散。发展的巨潮带来技术—经济范式的改变,每次发展巨潮的核心都有一种“关键生产要素”,技术—经济范式的形成是通过关键生产要素变迁实现的,如蒸汽时代的煤、铁,电气时代的钢、石油、天然气等。第三次工业革命下,电子计算机的产生和信息通信技术的发展使新的技术经济—范式形成,弗里曼和佩蕾丝率先提出了“信息技术范式”这一概念,明确指出“芯片”是这一范式的关键生产要素。现在看来,芯片依然是难以替代的关键生产要素,广泛应用于生产和生活,并主导着信息通讯时代以数字经济的形态进行新一轮产业升级。

根据佩蕾丝的观点,每次技术革命的扩散都要遭遇根植于旧的技术—经济范式在技术、经济、制度上的巨大抵抗,所以新的数字技术—经济范式演进的过程可以分为导入期和拓展期,分别持续大约三十年,包含爆发、狂热、协同、成熟四个阶段。在导入期,先进的数字技术克服旧的技术—经济范式重重阻力,从实验室扩散到经济社会,并展现出超额利润、增长的生产率和迅速的市场渗入能力,技术革命由此爆发。在导入期后期会引发金融资本狂热投机行为,金融与生产发生分离,但过量的资金也会助推技术革命的深化进程。从导入期到拓展期中间需要经历转折期,这通常是一次“严重的衰退”,往往体现为泡沫的破裂,继而引发技术经济系统的调节和重组。这一重组使增长重新启动,技术—经济范式进入拓展期,拓展期伴随着数字经济高速协同增长的“黄金时代”的到来,意味着数字产业结构升级的重大机遇。在这一阶段,数字技术—经济范式的整个潜力可以被充分挖掘出来,产生使整个社会普遍受益的经

---

① Dosi, G., “Technological Paradigms and Technological Trajectories.” *Research Policy*. 1982,11(3): pp.147-162.

② Dosi, G., “Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation.” *Journal of Economic Literature*. 1988,26(3): pp.1120-1171.

③ Perez C.,“Structural Change and Assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems.” *Futures*. 1983,15(5): pp.357-375.

济增长。

当前,以智能化、网络化、数字化为核心特征的数字技术—经济范式正处于由导入期向拓展期转变的关键阶段①。经过长时间的技术积累和市场探索,数字经济在资本层面,早期诸如“共享单车千亿级融资”的资本狂热炒作现象逐渐冷却;在产业层面,数字经济从消费端向产业端渗透落地,探索实体经济、传统产业链的重塑升级;在监管层面,逐渐结束了数字企业无序扩张的“野蛮生长”阶段,平台垄断、大数据歧视、算法合谋、信息泄露、扼杀式并购等问题提到政府监管的议事日程。按照技术—经济范式理论,当生产关键生产要素的动力部门取得突破性进展时,支柱部门和引致部门会随之爆发性增长,部门间由此形成正循环,进而跨越转折点步入拓展期。② 后摩尔时代的来临,或为数字技术—经济范式跨越转折期提供了契机。

在拓展期,能够削减关键生产要素成本的创新至关重要,如果关键生产要素物美价廉,就会吸引越来越多的生产者使用并改造其产品和工艺,进而扩大市场,这种生产者需求的增长转而提高了投入品和基础设施上的生产率,从而产生一种良性循环。这正如马克思指出,“由于生产力提高一倍,以前需要使用 100 资本的地方,现在只需要使用 50 资本,于是就有 50 资本和相应的必要劳动游离出来;因此必须为游离出来的资本和劳动创造出一个在质上不同的新的生产部门,这个生产部门会满足并引起新的需要”③。在摩尔定律的指导下,1971 年以来集成电路芯片不断追求性能上的提升,并同时使成本稳步下降,但随着摩尔定律趋近极限,沿袭摩尔定律寻求成本与性能间的“两全”越来越难以为继。若能在后摩尔时代的技术跃迁机遇期,出现跨越技术轨道级别的颠覆性创新,实现关键生产要素——芯片性能/成本阈值上的突破性进展,就能引发动力部门多种类、大规模的生产资料价值下降和支柱部门规模的扩张。动力部门、支柱部门和相应的基础设施构成了美国经济学家罗斯托在《经济增长的阶段》中提出的主导部门(Leading Sectors)④,主导部门是在经济增长过程中通过引入新的生产函数而率先具备高增长率的主要增长部门,并通过扩散效应带动其他产业部门增长。支柱部门向传统行业的延伸和改造诱发了引致部门的增长,引致部门是吸纳就业最广泛的部门,引致部门的扩张为技术革命浪潮提供了产业协同的力量。将引致部门纳入正循环标志着数字技术对全产业链的全面渗透,生产关键生产要素的动力部门、支柱部门和引致部门的正反馈循环形成,数字技术—经济范式进入拓展期,参见图 3。

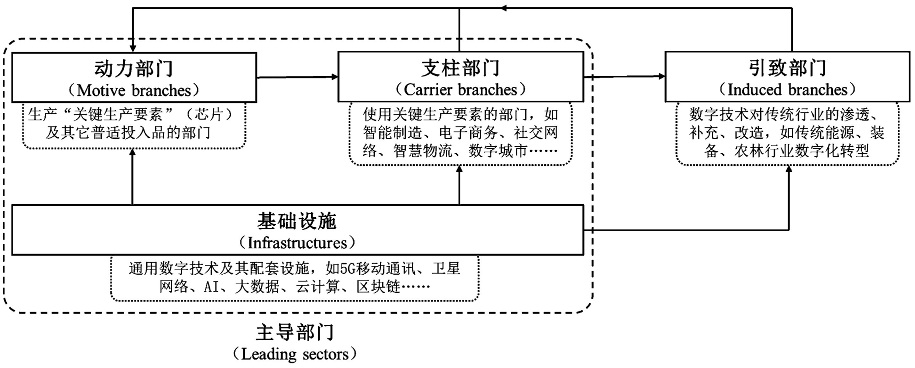

图 3　数字技术—经济范式各增长部门的正反馈循环

---

① 谢伏瞻:《论新工业革命加速拓展与全球治理变革方向》,《经济研究》2019 年第 7 期,第 4—13 页。

② 杨虎涛、冯鹏程:《技术—经济范式演进与资本有机构成变动——基于美国 1944—2016 年历史数据的分析》,《马克思主义研究》2019 年第 6 期,第 71—82 页。

③ 《马克思恩格斯全集》第 46 卷,北京:人民出版社 2016 年版,第 391—392 页。

④ Rostow, W., “The Stages of Economic Growth.” Economic History Review. 1959, 12(1): pp.1-16.

三、后摩尔时代数字经济的创新方向

根据数字技术—经济范式理论,技术发展对数字经济演进历程有深刻影响,后摩尔时代的数字经济也将在技术驱动下呈现新的创新方向。自 1971 年英特尔发明第一台微处理器,数字经济以 PC 端为主导的通信互联网形态存续,并随着集成电路等核心技术不断突破,由最初的计算、存储功能发展到实时通信与社交网络,但技术赋能商业特征尚未显现。2008 年,苹果公司 iPhone3G 正式发售,谷歌也在同年推出 Android 操作系统,由此开启了移动互联网元年。之后,颠覆性数字技术雨后春笋般不断涌现,电子商务呈现“梅开二度”之势,并进军移动端,消费互联网出现井喷行情。经过十多年的持续发展,当前全球消费互联网行业生态逐渐成熟,美国的苹果、微软、谷歌、亚马逊、脸书以及中国的阿里巴巴、腾讯等数字企业稳居全球市值前 10 名榜单,并通过技术扩散,驱动通用电气、特斯拉、西门子、海尔等为代表的产业互联网快速发展,表明产业互联网开始破局。与此同时,随着关键生产要素的技术突破,各经济部门将实现正反馈循环进入拓展期。相较于消费互联网,产业互联网对于数字经济和社会发展更为关键,产业互联网致力于打通、补全消费端与供给端中间链条,意味着数字技术对经济、社会、制度系统的全面构建。技术—经济范式将拓展期描述为“高歌凯旋的新范式以其现代化的力量重塑整个经济结构,并充分发挥财富生产潜力”,就对应于这一时期。

因此,后摩尔时代将继续延续技术驱动数字经济演进的逻辑,围绕技术轨道跃迁引致的技术演进与经济发展的交互作用,后摩尔时代数字经济的创新方向相较以往也有所差异。首先,数字经济的底层技术基础将从微缩半导体技术向更高层级的量子技术演化,技术演化进而驱使企业创新重心将从商业模式创新转向原始技术创新。其次,后摩尔时代技术跃迁推动数字技术—经济范式跨越转折期步入拓展期,体现为数字技术赋能产业从消费端向生产端发轫。再次,后摩尔时代也呼唤着公司治理结构和组织结构的适应性转变,创始股东往往具有不可替代的作用,从而在产权结构及其治理机制设计上更加注重保护创始股东的一股多权等形式的超级控制权;为适应数字经济与创新驱动的天然联系,企业组织结构趋向网络化,并注重建立生态圈链接。最后,在外部环境方面,金融资本将重点流向基础研发和技术创新,逐渐从短期投资主义转变为长期主义;为抢占数字经济这一国际竞争的新制高点,各国更加注重处理好技术创新与扩散的关系,一方面继续加强技术创新的知识产权保护力度,另一方面以技术标准化促进技术创新的扩散和普及。

(一)底层技术基础:由微缩半导体技术到量子技术

数字经济有强烈的技术驱动性,数字技术与底层物理技术的不断突破密切相关。随着移动互联网逐渐普及和 5G 商用不断扩大,新兴数字技术呈现群体涌现、协同融合的特征。海量数据处理催生大数据技术兴起,数据成为数字经济关键要素;2015 年纳斯达克首次使用区块链技术完成私人证券交易;云计算于 2016 年进入全面爆发阶段,开始深入应用于亚马逊、微软、阿里巴巴等企业;2018 年深度学习三大顶尖巨头共同获得图灵奖,标志着人工智能取得突破性进展,ABCD 等底层数字技术成为数字经济发展的重要“使能”。驱动 ABCD 数字技术飞速发展的基础物理载体为硅基半导体芯片,借助硅材料半导体得天独厚的性质,操纵电流交替变化将图文声像转化为二进制的 0 和 1,实现对其加工、储存、运算、传送与还原,并且在摩尔定律作用下,计算机效能和速度呈指数型增长、相对价格稳步降低。但后摩尔时代下,沿袭微缩硅基半导体的技术思路将无能为力,需要依靠进一步发展量子技术来解决问题。量子是迄今人类发现的能表现出某物质或物理量特性的最小单元,与构成物质的基本粒子属不同范畴的概念。事实上,自 1900 年量子力学诞生以来,现有的激光、半导体技术都是基于量子原理发展而来的,而未来量子理论仍是突破摩尔定律的重要技术思路,发展量子光学、量子信息,在硅光子电路上实现多光子纠缠都是重要技术方向。全球半导体技术路线图(ITRS)指出芯片的中长期发展要以量子技术为物理基础的颠覆性、革命性新型器件来超越摩尔定律。为此,中共中央政治局 2020 年 10 月 16 日就量子

科技研究和应用前景举行集体学习,习近平总书记在主持集体学习时强调指出,量子科技发展具有重大科学意义和战略价值,是一项对传统技术体系产生冲击、进行重构的重大颠覆性技术创新,将引领新一轮科技革命和产业变革方向。①

(二)创新重心:由商业模式创新到原始技术创新

Christensen 提出企业需要进行相应的破坏性商业模式创新,以匹配技术发展。② 随着信息技术的成熟和互联网普及深入,企业创新的重心一度偏向商业模式创新。借助开放和内部协调的数字平台,数字技术的嵌入重构了产品开发、试制、加工以及物流与销售的流程框架,催生了小米科技、盒马生鲜为代表的电子商务新模式。而相较于其他创新类型,技术创新对企业的影响强度最大,并推动经济的高质量发展。③ 在后摩尔时代企业继续重视商业模式创新的基础上,创新重心将向原始技术创新转移,一方面,驱动数字经济的关键软硬件技术面临颠覆性创新,摩尔定律是推动"硅—冯"范式技术进步的重要力量,随着摩尔定律的终结,后摩尔时代的技术创新将沿突破硅 COMS 技术的"类硅模式材料创新"和突破冯·诺依曼模式的"类脑模式架构创新"两个方向演进④,原始技术创新面临"新蓝海"。另一方面,根据后发优势理论的技术发展"蛙跳"(Leap-Frogging)模型,在新一代颠覆性技术刚刚出现时,发达国家此前拥有的技术优势变成了沉没成本,往往面临技术进步的"锁定"效应,而后进国家因为技术转换成本较低,可直接迅速采用新技术,从而实现技术赶超和后发优势。在后摩尔时代的技术跃迁期,中国科技创新已进入跟跑、并跑、领跑"三跑并存"的新阶段,然而数字产业利润的增加仍主要来自规模性扩张而非创新性升值,这一系列问题导致中国在全球价值链上频频受制于人。依靠商业模式带来的超额利润固然富有吸引力,但科技创新的"星辰大海"着实更令人心潮澎湃。因此,在后摩尔时代,中国企业应当承担起科技创新的责任,在新一代人工智能、量子信息、集成电路、先进制造、类脑科学、空天科技等科技前沿领域攻关中发挥作用。

(三)产业发轫:由消费端到生产端

技术赋能数字经济从消费互联网向产业互联网发展,后摩尔时代下的数字经济生产端处于发轫之际,产业互联网将成为数字经济的进一步发展方向。目前中国数字经济领域的头部企业基本属于消费互联网的范畴,在生产端缺乏具有全球竞争力的企业,数字技术与实体经济依然存在"两张皮"现象。按照技术—经济范式理论,关键生产要素的突破性进展将引致各经济部门形成正循环,推动数字技术—经济范式进入拓展期,拓展期具体体现为数字经济的产业互联网阶段,因此后摩尔时代的来临为数字经济实现从消费端到生产端的跨越提供了契机。若想实现产业内外大规模、通用化的普及互联网,就需要使不同工业体系、平台体系、技术部类之间具有可靠的链接特性,超高速率和几何级增长的连接密度是万物互联的基础保障。因此,ABCD 等数字技术深度嵌入纵向产业链"研发—生产—销售"全过程是根本的技术保障。随着数字技术与生产端产业系统全方位深度融合,数据要素赋能将推动传统产业结构变革,优化全产业价值链。以数字技术为驱动力的生产和活动会依存于新的组织形式、组织关系和边界,即形成新的生产方式和生产关系,其本质是由计算机通信技术、互联网和数据要素与产业融合并重构的产业形态。数字技术向生产端整体渗透,进而渗透到经济社会生活的方方面面和各个环节,是数字技术扩散的终极形态,正如业内人士所言,所有行业和生意都可以用数字化重做一遍。

---

① 《习近平在中央政治局第二十四次集体学习时强调 深刻认识推进量子科技发展重大意义 加强量子科技发展战略谋划和系统布局》,《人民日报》2020 年 10 月 18 日第 1 版。

② Christensen, C. M., M. W. Johnson., D.K. Rigby, "Foundations for Growth: How to Identify and Build Disruptive New Businesses". *Social Science Electronic Publishing*.2002,43(3): pp.22-31.

③ 孙祁祥、周新发:《科技创新与经济高质量发展》,《北京大学学报(哲学社会科学版)》2020 年第 3 期,第 140—149 页。

④ 许居衍、黄安君:《后摩尔时代的技术创新》,《电子与封装》2020 年第 12 期,第 3—6 页。

(四)产权结构:由物力资本到人力资本

技术演进对公司产权结构的影响体现为产权结构从物力资本导向往人力资本导向演进。企业产权的实质是剩余索取权和剩余控制权,企业是物力资本所有者和人力资本所有者达成的长期合作契约,在企业的“人—物”契约中,谁主导剩余索取权和剩余控制权,取决于相对重要性和稀缺性。在工业经济时代,特别是在大机器生产方式下,物力资本相对重要且稀缺,由此产生了股东至上、大股东主导的公司治理逻辑。在数字经济时代,颠覆性创新和替代式竞争成为常态,这很大程度上依赖于公司创始人的原创能力、精神动力和趋势洞察力,而过度强调大股东主导容易忽略对创始股东团队的保护。事实上,创始股东团队除了是数字企业的物力资本提供者,还是企业最重要的人力资本提供者,不仅拥有管理者“把方向、定大局”的能力,而且往往拥有巨大的关系资本,这正是数字企业保持长期快速可持续发展发展的关键因素。在这种背景下,创始股东一股多票的“双层股权结构”和“有限合伙人”制度流行开来,这种产权结构及治理机制的创新有助于使公司创始人能够在持有较少股份的情况下掌握公司控制权。因此,数字企业的产权结构由工业经济时代的同股同权同利,转为数字经济时代“同股不同权”结构下的创始股东超级控制权。后摩尔时代技术创新的突破为企业家引入新生产方式、实施新组合提供了广阔空间,与之相适的产权结构设计将进一步深化对人力资本的保护,并从保护创始人团队延伸到保护关键核心数字技术的研发人员,尤其是具有显著的数字素养、识别数字创新机会和数字吸收的能力的人才,由此,高管股东化、员工创客化等做法将会逐步走向常态化,未来的产权结构和治理机制将会进一步演变,由工业经济时代“谁出资、谁所有、谁控制、谁受益”的逻辑,逐步走向数字经济时代“谁创造、谁所有、谁控制、谁受益”的逻辑。

(五)组织结构:由垂直化到网络化

“结构紧随战略”,数字技术革命下,伴随着企业数字化战略的全面推进,为“让听得见炮声的人来指挥战斗”,工业经济时代的垂直化组织结构逐步让位于数字经济时代的扁平化组织结构。数字技术的深度应用使扁平化组织结构能够围绕用户进行价值创造,加强企业内各小团队的链接和集合,加速整合配置资源,例如阿里巴巴实施“中台战略”打造互联网云平台企业架构;华为的蜂巢式组织模式实现了以人为本的“去中心化”;海尔集团的“人单合一”模式打破了内部横向间、纵向间以及外部地理和文化的边界,形成了“人人都是 SBU”甚至“人人都是 CEO”的两千多个小微联合体。

随着后摩尔时代的到来,数字技术市场更趋复杂,并呈现全球产业链化、生态圈化的趋势,企业组织将进一步网络化,以链接创新生态。以华为的芯片制造为例,华为海思实际上是芯片的无晶圆制造设计(Fabless)企业,处于芯片制造供应链的中游,其上游包括硅材料制造、EDA(电子设计自动化软件)、IP核,下游包括芯片制造和封装,由于芯片生产的高度垂直分工化,一旦狭隘的单边贸易主义盛行,芯片就面临只能设计而无法制造的封锁困境。由此可见,随着技术的不断进化,无论从技术难度还是经济成本方面,过去的“单打独斗”模式都断不可行,企业创新竞争由“单体企业之争”演变为“创新生态系统之争”。因此,坚持自主创新原则固然重要,但打破国外垄断、实现自主可控与开放生态、跨越边界并无矛盾。除了研发自主可控技术,构建属于自己的创新生态圈也是必然要求。这就要求以开放包容的心态与外界交流,并由此衍生出有利于技术创新的组织结构,组织结构将进一步趋于网络化。中国可以凭借“数字人口”最多和数字技术应用场景最广的优势,以技术标准为创新耦合纽带,借助交叉网络外部效应形成共存共生、协同配套的技术创新生态,具体体现为横向业务的跨界入局以及纵向业务的融合贯通,并且不断扩大全球连接规模,由此构建起网络化的组织结构。

(六)金融资本:由短期主义到长期主义

金融资本与产业资本的锁定效应和路径依赖性不同,金融资本具有高度的流动性和短期盈利倾向,可以随时选择和转换目标并抽逃风险。随着数字技术—经济范式狂热期来临,金融资本显现出短期主义,当具有革命性的新兴产业迅速超越现有部门的利润和创造力时,数字经济将获得金融资本的青睐,

当数字技术需要外部资金支持时,其所代表的产业资本和金融资本的相互作用业已展开。这对数字经济的发展具有两面性的影响,一方面,在消费互联网阶段,金融资本扮演了“增长润滑剂”的角色,支撑着数字企业虽然普遍亏损却能够不断获得融资进而一直处于高估值状态;另一方面,数字企业也易成为金融资本操纵和投机的对象,这表现为以共享单车为代表的领域出现资本狂热追逐以及接踵而至的倒闭潮、P2P 网贷等互联网金融行业频频爆雷,等等。根据佩蕾丝的观点,金融资本的泡沫在转折期间容易破裂,当资产的账面价值和真实价值重新取得一致时,金融资本将面临“清算和规制”,并开始重新建立与生产资本之间的恰当联系。金融资本与产业资本的主导权的交替是从技术革命导入期到拓展期的必经之路。在后摩尔时代,数字经济底层技术基础的研发投资门槛进一步提升,如 2021 年英特尔公司宣布投资 200 亿美元建设 7nm 级芯片晶圆厂,动辄百亿资金的技术研发费用要求大量金融资本流向基础技术。因此,后摩尔时代产业资本被视为数字经济财富增长的创造者,金融资本开始与新技术的发展相适应,资金由规模化低附加值的平台模式行业投入到高附加值的技术创新领域,金融资本逐渐转变为依靠基础技术、实体经济进行生产的长期主义增长模式,真正成为持续投入到产业互联网的创新资本。

(七)制度支持:从知识产权到技术标准

技术创新不仅涉及技术、经济问题,还关系到多种法律形态以及政府的制度支持。作为技术创新的桥梁和载体,知识产权保护和技术标准化成为数字经济创新发展所急需的两大制度支持。知识产权保护是旨在激励、保护科技创新而被法律赋有的专有权,具有排他性;技术标准是具有公共资源属性的通用技术要求或方案,具有公共性。二者本来是并行的体系,甚至存在一定异质性。但是,随着数字经济领域专利数量不断增加,企业在重视知识产权保护的同时也易造成知识产权滥用现象,甚至引发“专利流氓”盛行。数字经济领域的公知技术越来越少,企业在技术运用过程中“踩雷”现象频发,技术扩散进程受阻。而技术标准在保护知识产权的同时,通过标准必要专利的 FRAND(公平、合理、无歧视)原则承诺,有助于技术创新扩散和社会技术进步。因此,如何在知识产权保护和促进开放竞争中寻求平衡以推动技术的发展,成为后摩尔时代的重要议题。

后摩尔时代的到来使各国纷纷抢占数字技术的关键核心领域,这将继续加速知识产权保护与技术标准的融合协同。当前,半导体芯片的制造工艺日趋复杂,从芯片设计、晶圆制造到封装均呈现全球产业链紧密融合态势,复杂制造系统模块化,兼容性技术大量涌现,一些跨国公司开始利用其知识产权的合法垄断性控制技术标准来限制竞争、牟取暴利,知识产权与技术标准之间的平衡被打破,将破坏技术创新秩序,抑制科技创新发展。中国在芯片制造底层核心技术上面临技术封锁等“卡脖子”问题,主要在于美国率先抢占了底层核心技术的知识产权与技术标准的制高点。技术标准和知识产权构成了数字技术创新发展的两个支点,相互依赖、相互制约,中国目前对专利技术的保护程度不断提高,但对技术标准化重视不足,亟须制度安排在开放和控制两种策略中进行取舍,以支持、保障技术发展的健康生态环境。

四、政策建议

后摩尔时代是技术轨道跃迁的关键窗口期,技术跃迁往往为产业领导者的确立和后发国家实现赶超提供了机会,在数字经济大背景下,中国应当把握好后摩尔时代这一“变道超车”的机遇期,加速数字经济发展的进阶路径。

第一,加强关键核心技术攻关力度。围绕新一代人工智能、量子信息、集成电路、先进制造、类脑科学、空天科技等科技前沿领域进行重点技术突破。在仅靠市场自发力量难以有突破性进展的形势下,有必要发挥新型举国体制优势,围绕关键核心技术领域进行重点突破。

第二,推行国家数字化战略。围绕“十四五”规划的战略部署,营造良好的数字生态,一方面加快数字产业化,另一方面着力推进产业数字化,同时致力于不断提升数字社会、数字政府的建设水平。

第三,坚持企业的创新主体地位。以企业为核心,融纳科研院所及高校等力量,促进各类创新要素向企业聚集,使企业在科技创新、研发投入、产学研合作和成果转化中发挥主体作用,在引导数字企业继续注重商业模式创新的同时,把研发重点转向前沿数字技术创新的“星辰大海”。

第四,强化知识产权保护与技术标准协同推动技术创新。充分发挥知识产权保护的“动力机制”,同时注重技术标准化的“扩散效应”,在二者之间寻求平衡。一方面,在注重知识产权保护的同时,避免实施“专利流氓”等滥用知识产权行为。另一方面,重视技术标准化在数字经济系统中的扩散作用,如鼓励操作系统和其他软件的开源化、互操作,企业间建立专利池以相互授权、共享知识产权。

第五,继续实行坚持包容审慎的监管原则。推动面向数字经济时代的监管体制创新,积极探索“监管沙盒”的适用范围,允许面向新技术创新及应用的数字企业在安全空间内试错、创新,营造后摩尔时代数字经济健康发展的监管制度环境。

Innovation Direction of Digital Economy in the Post-Moore Era

Qi Yudong, Xu Kaige

(*Business School*, *Beijing Normal University*, *Beijing* 100875, *China*)

Abstract: For a long time, the rise and development of digital economy have been benefited from the effect of Moore's Law. However, the Moore's Law is coming to its limit with the rise of the internet consumption, and the Post-Moore Era is approaching. The Post-Moore Era means the leap forward of the research of integrated circuit chips on the technological trajectory, thus providing a new direction and path for the development of digital economy. From the theoretical perspective of techno-economic paradigm, this paper demonstrates the characteristic facts and the leap forward of the techno-economic paradigm in the Post- Moore Era, with the combination of the evolution of the technological trajectory of the integrated circuit ships. Then, this paper analyzes the innovation direction of the digital economy in the Post-Moore Era from such seven aspects as technological foundation, innovation focus, industrial driving force, property right structure, organizational structure, financial capital, and institutional support. Finally, the paper puts forward several policy suggestions.

Key words: digital economy; Post-Moore Era; techno-economic paradigm; technological innovation

(责任编辑　杨伊佳)